

# 基于多源数据的乌鲁木齐机场 高影响降雪天气分析

丁 旭

中国民用航空新疆空中交通管理局气象中心, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2024年7月8日; 录用日期: 2024年8月22日; 发布日期: 2024年8月30日

## 摘 要

利用风云四号A星TBB资料、AWOS系统降水资料、微波辐射计资料及多普勒天气雷达资料对2023年1月11日~13日乌鲁木齐机场一次高影响降雪天气进行研究。结果表明: 1) TBB值的变化对降雪天气的短时临近预报有较好的指示意义, 降雪前TBB值骤降预示着降雪的开始, 在降雪过程中, TBB值减小对应降雪强度加强, 二TBB值骤增则预示着降雪将结束。2) 雷达回波整体连续, 中心范围增大, 强度增强时, 降水明显上升, 并稳定维持; 回波减弱消散时, 对应降水减弱并结束。3) 微波辐射计可以展现降水过程中垂直方向连续的水汽动态变化, 对降水天气的临近预报有较好的辅助参考作用。

## 关键词

降雪, 卫星云图, 雷达回波, 微波辐射计

# Analysis of High-Impact Snowfall Weather at Urumqi Airport Based on Multi-Source Data

Xu Ding

Meteorological Center, Xinjiang Air Traffic Management Bureau, Civil Aviation Administration of China, Urumqi Xinjiang

Received: Jul. 8<sup>th</sup>, 2024; accepted: Aug. 22<sup>nd</sup>, 2024; published: Aug. 30<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Using TBB data from Fengyun-4A satellite, precipitation data from AWOS system, microwave radiometer data, and Doppler weather radar data, this study investigates a snowfall event at Urumqi Airport from January 11~13, 2023. The results show that: 1) The change of TBB value has a good indicator significance for the short-time forecast of snowfall weather. The sudden drop of TBB value before snowfall indicates the beginning of snowfall, the decrease of TBB value during snowfall corresponds

to the strengthening of snowfall intensity, and the sudden increase of TBB value indicates the end of snowfall. 2) When the radar echo is continuous as a whole, the center range is increased, and the intensity is increased, the precipitation rises obviously and remains stable; When the echo weakens and dissipates, the corresponding precipitation weakens and ends. 3) The microwave radiometer can show the continuous dynamic change of water vapor in the vertical direction during the precipitation process, which has a good auxiliary reference for the precipitation weather forecast.

## Keywords

Snowfall, Satellite Cloud Map, Radar Echoes, Microwave Radiometer

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

强降雪天气对航空飞行安全有重要意义, 降雪期间易出现能见度下降、跑道湿滑、道面结冰及积雪等情况会对航空器起飞着陆造成影响。因此研究此类天气的典型特征, 对提高预报预警能力, 保障航空运行安全有重要意义[1]。

气象学者针对降雪天气的环流形势、中尺度分析、及实况特征等方面影响做了大量研究。张俊兰等研究表明: 乌鲁木齐暴雪天气雷达回波特征表现为, 中低层存在风场辐合, 回波强度及中低层风场辐合越强、回波顶高越高, 则对应降雪强度越大[2]。魏娟娟等研究得出: TBB 与降雪强弱有一定的对应关系, TBB 越低, 中尺度云团发展越旺盛, 降雪越强, 且 TBB 低值维持时间越长, 降雪越强[3]。庄晓翠、许婷婷、于碧馨等针对乌鲁木齐暴雪的研究发现, 暴雪时高低空系统呈后倾结构, 中尺度云团是最直接的影响系统; 降雪前逆温层的存在、低层辐合中层辐散的高低空配置、持续的水汽输送以及地形引起的强迫抬升等作用有利暴雪天气的发生[4]-[6]。

本文利用机场 AWOS 降水资料、FY-4A 卫星 TBB 资料、微波辐射计资料及多普勒天气雷达对 2023 年 1 月 10 日~13 日乌鲁木齐机场降雪天气过程进行分析, 旨在了解现有资料对乌鲁木齐机场降雪天气过程中的短时临近预报效果。

## 2. 资料来源

### 2.1. 降水资料

文中使用的乌鲁木齐机场实况资料来自于乌鲁木齐机场民用航空自动气象观测系统(Aviation Automated Weather Observing Systems, 简称 AWOS)。文中使用时间均为世界协调时。

### 2.2. 卫星 TBB 资料

文中使用的 TBB (Temperature of Black Body, 相当黑体亮度温度)数据来自于中国新一代静止气象卫星的首发星 FY-4A (风云四号 A 星)。本研究使用第 12 通道 10.8  $\mu\text{m}$  长波红外通道, 空间分辨率为 4 km, 时间分辨率为 15 min。

### 2.3. 微波辐射计资料

乌鲁木齐机场 Airda-HTG3 型地基多通道微波辐射计资料, 共 14 个通道, 时间间隔为 3 min, 主要产

品包括探空温度、相对湿度、绝对湿度、液态水等。

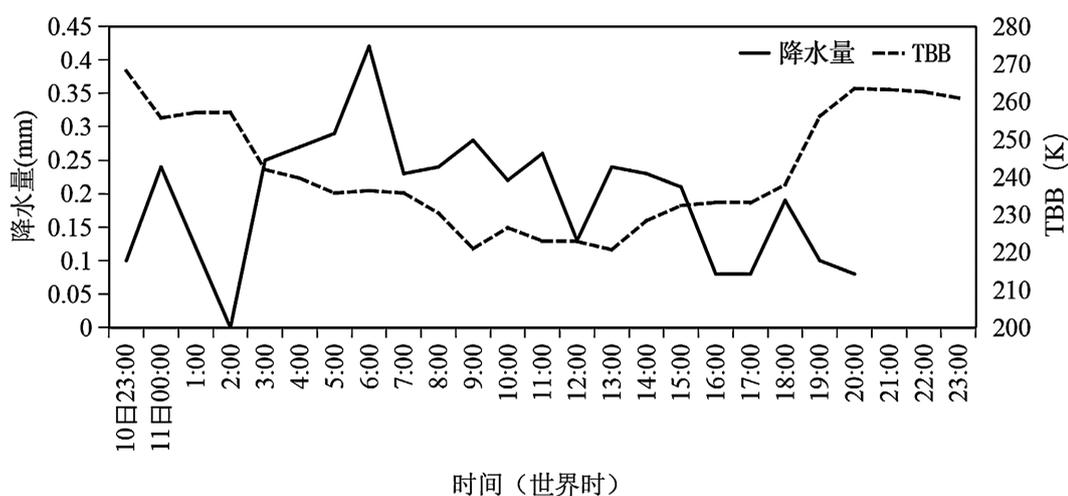
## 2.4. 多普勒天气雷达资料

乌鲁木齐机场多普勒天气雷达是安徽四创电子股份有限公司设计研制的新一代大型 C 波段全相参脉冲多普勒天气雷达[7]。时间间隔为 6 min，主要产品包括组合反射率、径向速度、气柱含水量、回波顶高及底高等。

## 3. 研究内容

### 3.1. 天气实况

2023 年 1 月 10 日~12 日，受强冷空气影响，北疆大部、天山山区出现大范围的强降雪天气过程。乌鲁木齐机场 10 日 16:00~11 日 22:30，12 日 02:30~13:00，15:00~16:00 为小雪，11 日 05:00~05:30 为中雪，过程降水量 4.5 mm，新增积雪深度 15 cm。降雪天气期间，航班延误 97 架次，延误超两小时航班 4 架次，备降一架次，对乌鲁木齐机场航空运行造成了较严重的影响。



**Figure 1.** Time series of hourly precipitation (unit: mm) and FY-4 infrared brightness temperature (TBB) at Urumqi Airport from January 10 to 11, 2023

**图 1.** 2023 年 1 月 10 日~11 日乌鲁木齐机场逐时降水量(单位: mm)及 FY-4 红外亮温(TBB)时间序列图

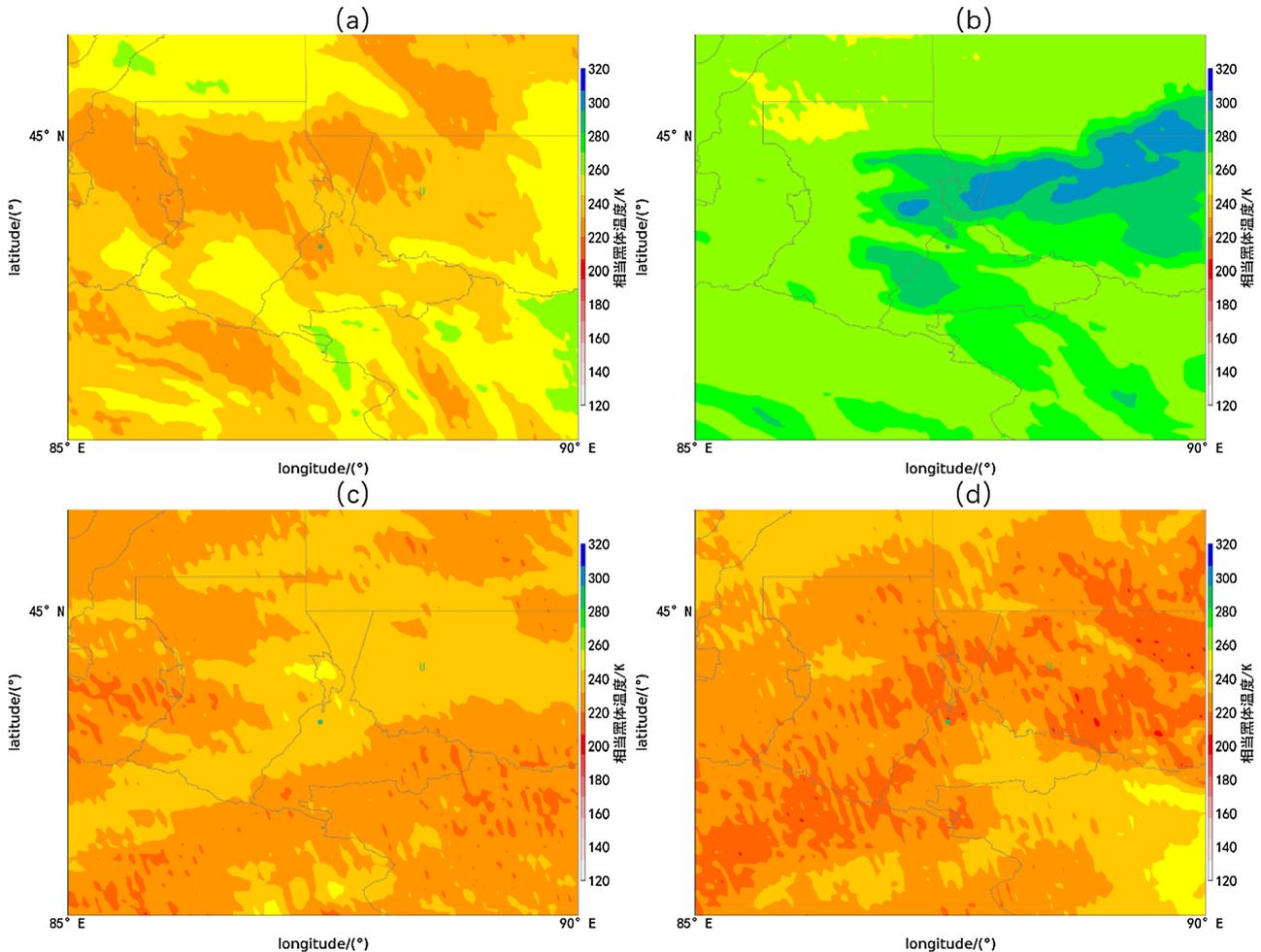
TBB 有助于了解云系的发展演变趋势，与云顶高度呈负相关，TBB 越低，云顶高度越高，中尺度云团发展越旺盛，降雪越强，故 TBB 的降幅和低值维持时间与降雪强度及持续有很大联系[2]。

如图 1 所示，10 日 23 时起，FY-4 卫星的 TBB 数值开始明显下降，随后保持平稳，11 日 18 时后，TBB 值急剧上升。TBB 的变化趋势和机场的降水量在大部分时段具有较好的对应关系，在 TBB 值开始下降时，机场开始出现降水天气。11 日至 12 日降水期间，当 TBB 值下降时，对应降水量增多；TBB 值上升时，相应降水量减少。18 时后，TBB 值急剧上升，机场降水量减少，20 时后，虽然观测有降水持续，但后续降水过程中降水量一直为 0.1 毫米。

### 3.2. 风云卫星 TBB

云系生命周期定义了发育、成熟及消散三个阶段的红外亮温特征，在云系内亮温逐渐降低，在达到最低 TBB 之前被定义为发育阶段，在成熟阶段云系达到最小 TBB 后云内亮温基本维持，消散阶段时云内亮温逐渐增加，云系的大小不断减小减弱[3]。从图 2 可以看出，在降雪系统向东缓慢移动的过程中，

影响乌鲁木齐机场的降水云系有明显的发育、成熟和消散的过程。11日00:30~05:30 TBB 骤降, 为降水云系的发育阶段(见图 2(a))。05:30 降水云团结构紧密且 TBB 等值线有明显梯度[3], 机场位于梯度大值区前沿, 小时降水量上升至 0.43 毫米(见图 2(b)); 直至 11 日 12:53, 降水量维持在 0.2~0.3 毫米之间, 该过程为降水云系的成熟阶段(见图 2(c))。12:53 时后, TBB 开始逐步上升, 降水量呈现下降趋势, 18 时 TBB 值急剧上升, 小时降水量降至 0.1 毫米, 降水云团结构松散, 开始消散(见图 2(d))。

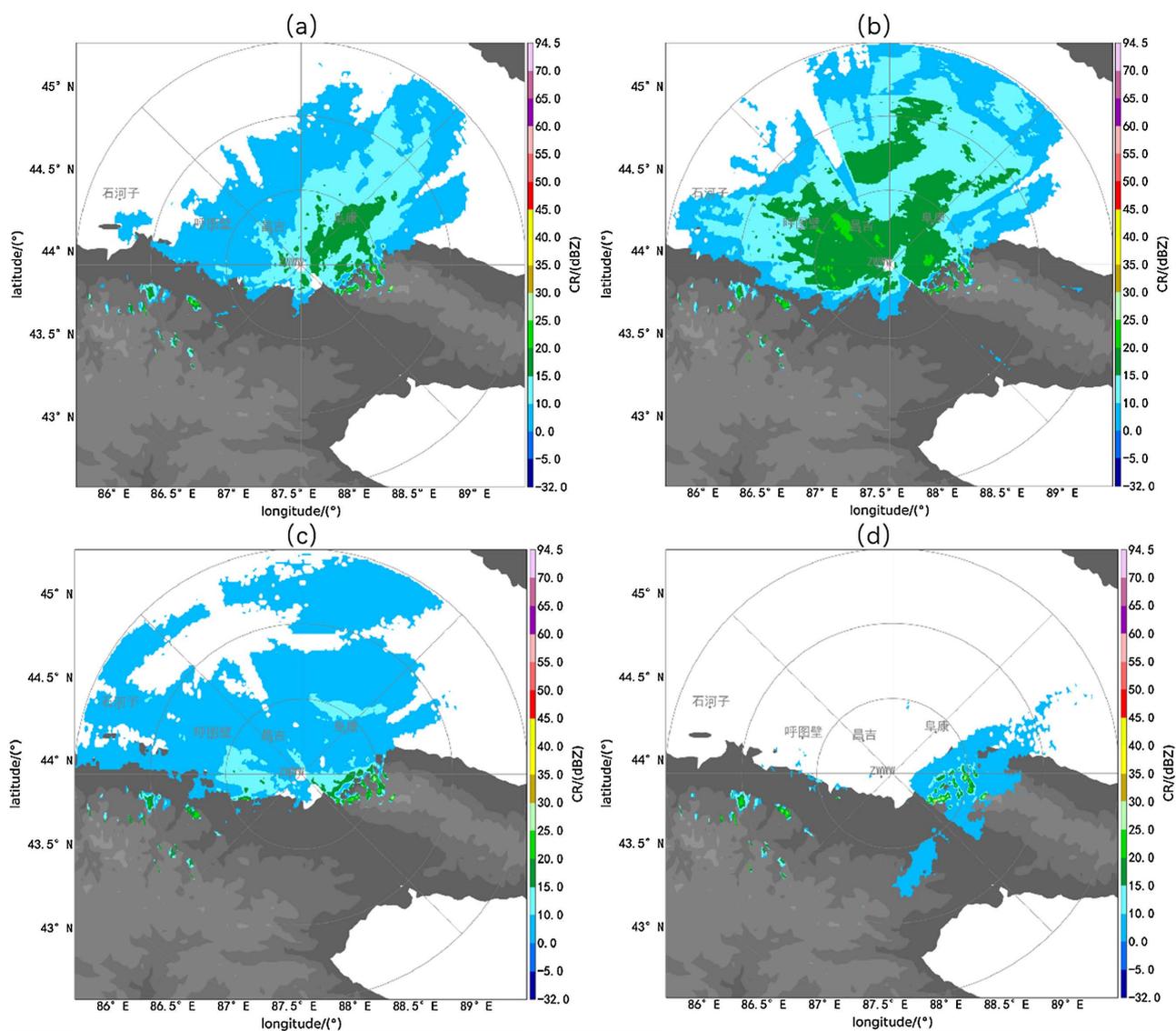


**Figure 2.** FY-4 satellite cloud map of Urumqi Airport on January 11, 2023 with the variation of cloud top black body temperature TBB (unit: K). (a) 00:30, (b) 05:30, (c) 12:53, (d) 18:30

**图 2.** 2023 年 1 月 11 日 FY-4 卫星云图乌鲁木齐机场云顶亮温 TBB (单位: K)变化图。(a) 00:30, (b) 05:30, (c) 12:53, (d) 18:30

### 3.3. 多普勒雷达

图 3 是机场多普勒雷达组合反射率分布图, 从雷达图的演变过程来看, 降雪开始前, 回波进入距本场 50 公里左右范围内, 但回波强度较弱(图略)。11 日 08:00 回波范围扩大且强度加强, 回波中心强度为 10~15 dBZ, 机场开始有新增降水量为, 10:37 回波整体较为连续, 中心范围增大, 强度增强为 20~25 dBZ, 强回波中心覆盖本场, 此时本场降水开始出现明显上升趋势。随后机场上空一直持续有降水云系覆盖, 本场每小时有新增降水, 降水量维持在 0.1~0.45 mm。19:58 回波减弱东移至终端区东南侧, 强度减弱至 0~10 dBZ, 北侧、西北侧回波基本消散, 本场降水减弱, 逐小时新增降水量为 0 mm。



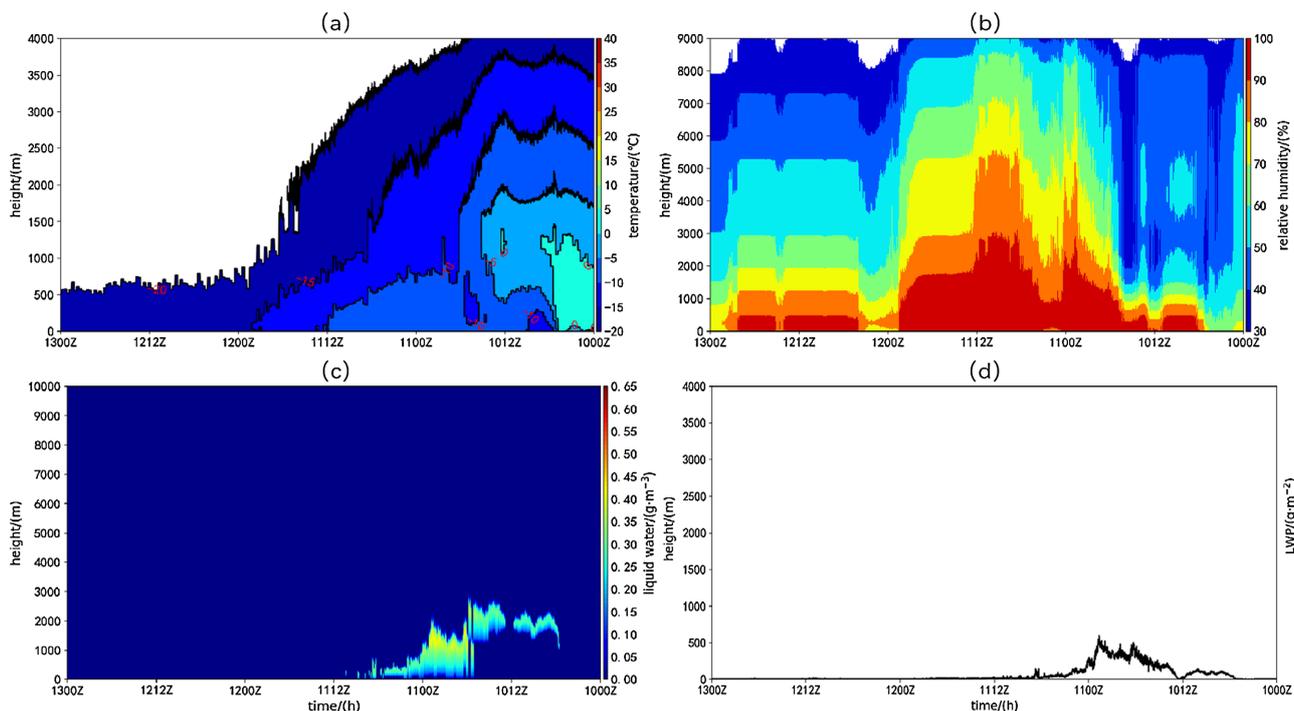
**Figure 3.** Distribution map of Doppler radar combined reflectivity (unit: dBZ) at Urumqi Airport on January 11, 2023. (a) 00:01, (b) 02:37, (c) 06:18, (d) 19:58

**图 3.** 2023 年 1 月 11 日乌鲁木齐机场多普勒雷达组合反射率分布图(单位: dBZ)。 (a) 00:01, (b) 02:37, (c) 06:18, (d) 19:58

### 3.4. 微波辐射计

10 日 16 时前, 机场上空有逆温层存在, 逆温层厚度约 1500 米, 16 时开始, 逆温层破坏, 整层温度快速下降, 与再分析资料中冷空气入侵时间一致(见图 4(a))。11 日 16 时后, 冷空气基本控制本场, 温度变化呈平稳态势, 与再分析资料中的温度变化表现一致。从相对湿度廓线图来看(见图 4(b)), 10 日 16 时前, 本场上空相对湿度低, 16 时后, 相对湿度骤增, 自地面至 5000 米高度相对湿度值大于等于 80%。湿层厚度厚, 水汽饱和度高。11 日 04 时, 整层相对湿度骤增, 而后降低, 湿度增大时间与本场中雪时段(05:00~05:30)基本一致。12 日 00 时后, 湿区高度逐渐降低, 厚度减小, 对应本场降水量明显减弱。从液态水廓线图(见图 4(c)), 10 日 06~15 时, 液态水最大伸展高度约为 3000 米, 液态水含量为  $0.43 \text{ g/m}^3$ 。10 日 15 时, 液态水伸展高度由 3000 米下降至 2000 米, 强度有明显加强, 最大值达  $0.43 \text{ g/m}^3$ , 11 日 00 时开始, 液态水伸展高度开始下降明显下降。液态水路径的时间变化与液态水廓线变化一致(见图 4(d))。可

见,微波辐射计对降水过程中垂直方向上的连续水汽动态变化有较好的监测作用,这对降水天气的临近预报有较好的辅助参考作用。



**Figure 4.** Time series diagram of (a) temperature profile (unit:  $^{\circ}\text{C}$ ), (b) relative humidity (unit: %), (c) liquid water profile (unit:  $\text{g}/\text{m}^3$ ) and (d) liquid water path (unit:  $\text{g}/\text{m}^2$ ) of microwave radiometer at Urumqi Airport from January 10 to 13

**图 4.** 1月10~13日乌鲁木齐机场微波辐射计(a) 温度廓线(单位:  $^{\circ}\text{C}$ ), (b) 相对湿度(单位: %), (c) 液态水廓线(单位:  $\text{g}/\text{m}^3$ ), (d) 液态水路径(单位:  $\text{g}/\text{m}^2$ )的时间序列图

#### 4. 结论

1) TBB 值的变化对降雪短时临近预报有较好的指示意义, 降雪前 TBB 值, 降雪过程中 TBB 值减小小时降雪强度增强, TBB 值突增表明降雪将结束。

2) 雷达回波整体连续, 中心范围增大, 强度增强时, 降水明显上升, 并稳定维持; 回波减弱消散时, 对应降水减弱并结束。

3) 微波辐射计能够展现降水过程中垂直方向上连续的水汽动态变化, 对降水天气的临近预报有较好的辅助参考作用。

#### 参考文献

- [1] 王清平, 谭艳梅, 陈春艳, 等. 乌鲁木齐机场一次寒潮多相态降水过程分析[J]. 气象与环境科学, 2018, 41(3): 107-114.
- [2] 张俊兰, 施俊杰, 李伟, 等. 乌鲁木齐暴雪天气的环流配置及中尺度系统特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2021, 15(1): 1-8.
- [3] 魏娟娟, 李娜, 万瑜, 等. 乌鲁木齐典型暴雪天气机理及成因分析[J]. 干旱区地理, 2022, 45(5): 1381-1391.
- [4] 庄晓翠, 李健丽, 李博渊, 等. 天山北坡2次暴雪过程机理分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2019, 13(1): 29-38.
- [5] 许婷婷, 张云惠, 于碧馨, 等. 2015年12月乌鲁木齐极端暴雪成因分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(5): 23-29.
- [6] 于碧馨, 洪月, 张云惠, 等. 天山两麓一次极端暴雪天气多尺度配置及机制分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(5):

---

11-18.

- [7] 曹敦波, 范大伟, 祁珊, 等. 乌鲁木齐机场多普勒天气雷达故障统计分析[J]. 气象水文海洋仪器, 2020, 37(1): 86-90.